

**Slutrapport**

**Energi och material för hållbar utveckling – Återvinning av komposit 2008/0647**

Mikael Skrifvars, Högskolan i Borås  
Dan Åkesson, Högskolan i Borås

## 1. Redovisning av projektets mål

Glasfiberarmerad plast består av polymera material som är armerade med glasfiber. Denna typ av kompositmaterial används för en rad olika tillämpningar i samhället; fritidsbåtar, vindkraftsvingar, konstruktionselement och detaljer till bilindustrin är exempel. Glasfiberarmerad plast saknar i dagsläget en etablerad metod för återvinning och många olika sätt att återvinna kompositer har utvärderats genom åren [1]. Många kompositmaterial tillverkas genom användandet av härdplaster som till skillnad från de termoplastiska materialen inte kan smältas och är därför svårare att återvinna. Kompositmaterialen är vidare komplext sammansatta material som kan innehålla plast, fibrer, fyllmedel såväl som kärnmaterial. Kärnmaterialen kan bestå av till exempel balsaträ och PVC-skum. Detta har sammantaget gjort att kompositmaterial inte har någon riktigt etablerad återvinningsmetod.

Den kanske enklaste metoden är att energiåtervinna kompositerna. Kompositer innehåller ofta så mycket som 70 vikts-% oorganiskt material, dvs glasfiber. Energiinnehållet i glasfiberarmerad plast är därför lågt och problemet kvarstår vad man ska göra med glaset [1-3]. En annan metod som utvärderats är att mala kompositerna och att använda kompositerna som fyllmedel [4-7]. Detta är en enkel och rättfram metod som utvärderats både akademiskt och industriellt. Det har emellertid visat sig att det är svårt att få avsättning för dessa produkter på marknaden då många fyllmedel finns tillgängliga i stora volymer och säljs till låga priser [1]. Därför har inte denna metod fått något genomslag i praktiken. Andra metoder där plastmatrisen löses upp för att frilägga fibern har också utvärderats [8, 9]. Ingen av dessa metoder är riktigt etablerade. Därför deponeras kompositmaterialen i stor utsträckning.

Den övergripande målsättningen för projektet har varit att utveckla en metod för att återvinna glasfiberarmerad plast samt att öka kunskapen kring återvinning av dessa material. Den metod för återvinning av komposit som studerats är mikrovågspyrolys. Pyrolys innebär att ett material upphettas i frånvaro av syre varvid materialet bryts ned till olja och gas. Traditionell pyrolys har utvärderats som en metod för att återvinna kompositmaterial [10-12]. Vid mikrovågspyrolys värms istället materialet upp med hjälp av mikrovågor. Detta är en relativt ny teknik för återvinning av material som är svåra att återvinna med traditionella tekniker. Fördelen med att använda mikrovågor är att materialet värms tvärs igenom. Vid konventionell pyrolys värms materialet genom värmeledning, vilket är sämre för material som har dålig värmeledningsförmåga. Polymerer leder värme dåligt och att värme med mikrovågor ger potentiellt bättre kontroll över upphettningsprocessen [13]. Mikrovågspyrolys av glasfiberarmerad plast kommer med andra ord att bryta ned plasten till olja och gas medan glasfibern friläggs.

Målsättningen med projektet har varit att utveckla denna teknik och att utvärdera i vilken utsträckning denna teknik är tillämplig för att återvinna kompositer. För att avgränsa projektet har fokus varit att tillämpa tekniken på glasfiberarmerad plast. Detta är den vanligaste formen av komposit och förekommer i relativt höga volymer. Projektet har framförallt fokuserat på att studera återvinningen av vindkraftsvingar. Användandet av vindkraft ökar och det är viktigt att utveckla tekniker för att återvinna dessa material, eftersom många vindkraftverk kommer att skrotas, då man ersätter äldre vindkraftverk med nya vilka har högre effekt.



## 2. Uppnådda resultat

### 2.1 Mikrovågspyrolys

Pyrolys av komposit har skett i samarbete med både Stena Metall AB och Gisip AB. Tester har skett i både laboratorieskala och pilotskala. Då glasfiberarmerad plast pyrolyseras, bildas gas och olja medan glasfibrerna friläggs. De återvunna fraktionerna karaktäriserades med kemiska och mekaniska metoder.

### 2.2 Gas, olja

Då plasten bryts ned under mikrovågspyrolysen bildas gas och olja. Oljan karaktäriserades först med bombkalorimetri för att bestämma dess kalorimetriska energiinnehåll. Denna test visade att oljan har ett relativt högt kalorimetriskt energiinnehåll på cirka 36 MJ/kg. Detta kan jämföras med trä som har ett värde på cirka 22 MJ/kg och diesel på ett värde av cirka 45 MJ/kg. Oljan är med andra ord relativt energirik och det finns förutsättningar för att kunna använda den industriellt. En möjlighet att utnyttja olja kommersiellt är att raffinera olja för att få fram en användbar produkt. En fraktionerad destillation genomfördes därför för att kunna bedöma oljans kvalitet och innehåll. Destillationen visade att varje fraktion av oljan innehöll olika aromatiska kolväteföreningar. Exempel på föreningar som finns i oljan återges i tabell 1.

Tabell 1. Exempel på komponenter som identifierats med GC-MS i pyrolysoljan.

Fraktion	Temperaturområde (°C)	Kemisk förening
1	65 - 95	Benzene, 1,1'-(1,3-propanediyl)bis-
2	96- 128	o-xylene
3	129 – 140	[2.2]paracyclophane
4	140 - 143	[2.2]paracyclophane
5	144 - 161	[2.2]paracyclophane
6	162 - 231	dimethyl phthalate
7	232 - 240	high molecular aromatic compounds
8	241 - 270	high molecular aromatic compounds

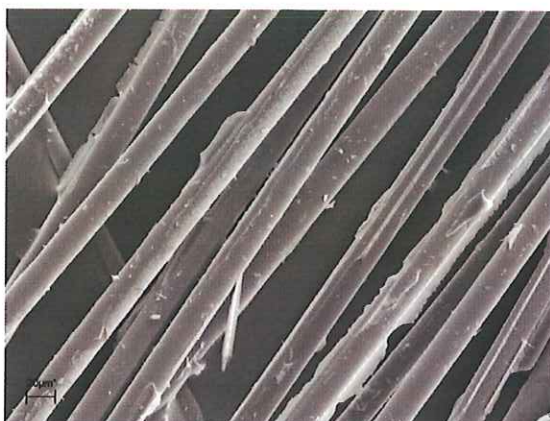
Den erhållna pyrolysoljan skiljer sig därmed mot kommersiella, petroleumbaserade oljor och det bedömdes i projektet att möjligheterna att raffinera oljan är små. Pyrolys av ett ton komposit från vindkraftsvingar skulle ge cirka 170 kg pyrolysolja. Att destillera olja skulle troligtvis inte bli ekonomiskt lönsamt då mängden olja är låg och oljan innehåller ett stort antal olika kemiska föreningar.

Möjligheterna att tillverka syngas (syntesgas) från oljan identifierades istället som en framkomlig väg. Syntesgas består av vätgas och kolmonoxid och framställs ur bland annat naturgas. Syngas är en vanlig förekommande råvara inom kemisk industri.

Gasen som bildas under pyrolysen samlades också upp och analyserades. Gasen består främst av metangas. Gasen som bildas under pyrolysen bör därför kunna utnyttjas till olika tekniska ändamål.

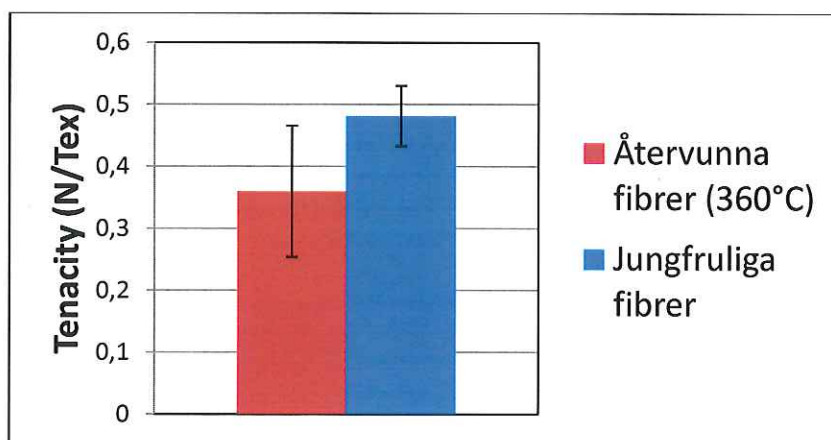
### 2.3 Återvunnen glasfiber

Efter att plasten i kompositen brutits ned vid pyrolysen, erhålls återvunna glasfibrer. Glasfibern karakteriserades först med svepelektronmikroskopi (SEM), se figur 1.



Figur 1. SEM-bilden visar glasfibrer efter mikrovågspyrolysen.

Som det framgår av figur 1 så är ytan av fibrerna belagda med ett skikt av material. Tester visade att runt 2 vikts-% organiskt material fanns kvar efter pyrolysen. De återvunna fibrernas dragstyrka bestämdes, se figur 2. Tester visade att fibern behåller cirka 75 % av sin ursprungliga dragstyrka efter pyrolysen. Tidigare forskning där glasfibrer återvunnits med termiska metoder har visat att glasfibern är känslig för höga temperaturer vilket resulterar i en låg dragstyrka för den återvunna fibern. Försöken gjordes vid ganska måttliga temperaturer och visar att mikrovågspyrolysen är relativt skonsam mot fibern som behöll 75 % av dess dragstyrka.



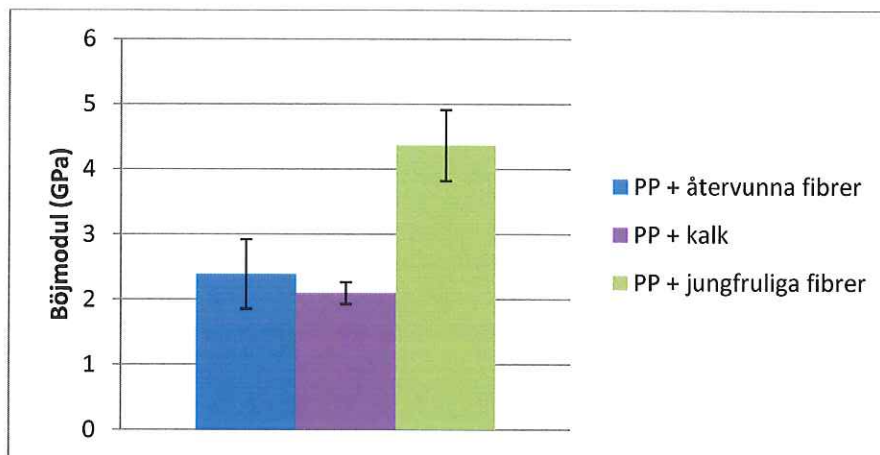
Figur 2. Dragstyrkan av den återvunna fibern jämfört med jungfruliga fibrer.



## 2.4 Användning av den återvunna glasfibern.

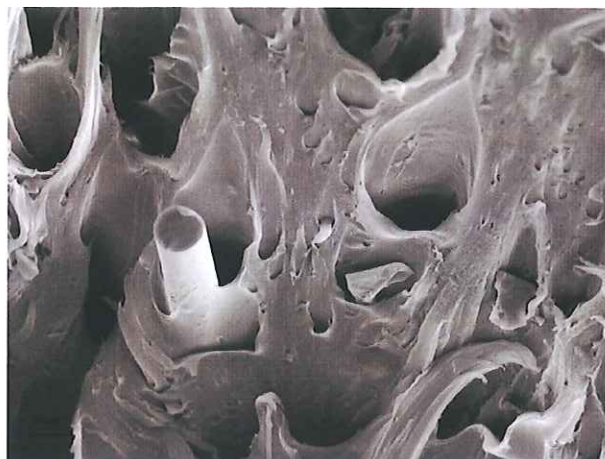
Studier genomfördes där den återvunna glasfibern användes för att tillverka nya kompositer. Både termoplast- och hårdplastkompositer studerades. Figur 3 visar böjmodulen för de termoplastiska kompositerna där 30 vikt-% av de återvunna glasfibrerna har komponderat (blandats) med polypropen (PP). De framställda kompositerna jämfördes med två kommersiella blandningar av polypropen som innehöll 30 vikts-% kalk respektive jungfruliga glasfibrer. Det framgår av figur 2 att den återvunna glasfibern ger ungefär samma mekaniska egenskaper som polypropen fyllt med kalk medan de jungfruliga fibrerna ger klart bättre mekaniska egenskaper.

Även om den återvunna glasfibern har en ganska hög dragstyrka så begränsas användningen av att fibrernas så kallade sizing är nedbruten. Sizingen är en form av beläggning på glasfibrernas yta som binder samman glasfibern och plasten. Under pyrolysen så bryts denna beläggning ned vilket försämrar kompositens mekaniska egenskaper.



Figur 3. Böjmodul för termoplastisk komposit där de återvunna fibrerna jämförs med två kommersiella referenser.

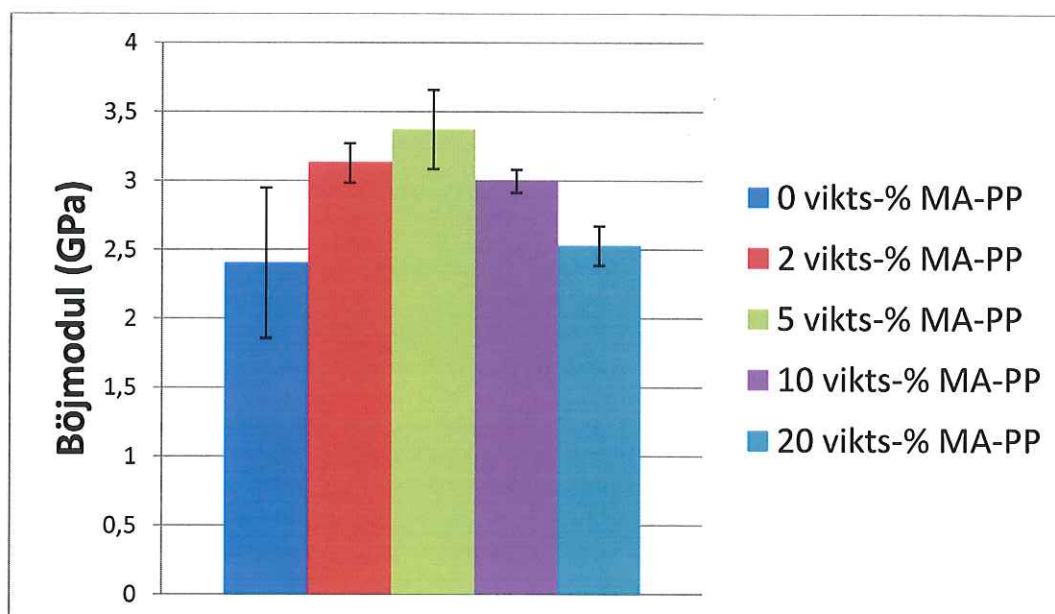
Brottsytorna för de framställda kompositerna studerades med svepelektronmikroskopi, se figur 4.



Figur 4. SEM-bild visar brottsytan efter mekanisk provning.

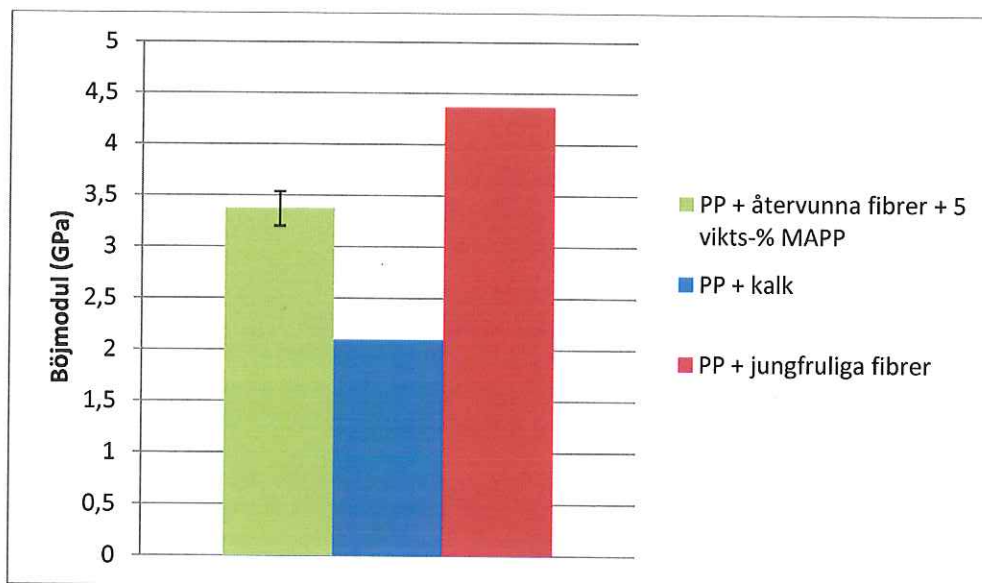
Stora kratrar i plastmatrisen kan observeras där fibrerna har lossnat ur matrisen. Vidare är fibrerna rena utan någon plast på ytan av fibern. Detta tyder på att adhesionen mellan fibern och plasten är dålig.

Försök gjordes att förbättra adhesionen mellan fibern och plasten genom att tillsätta olika så kallade kopplingsagenter. Dessas uppgift är att öka adhesionen mellan plasten och glasfibern. En kopplingsagent som används industriellt är maleinsyraanhydrid-graftad polypropen (MA-PP). Denna kopplingsagent binder samman glasfibern och plastmatrisen. Resultaten visas i figur 5.



Figur 5. Böjmodul för termoplastisk komposit där halten MA-PP varierats.

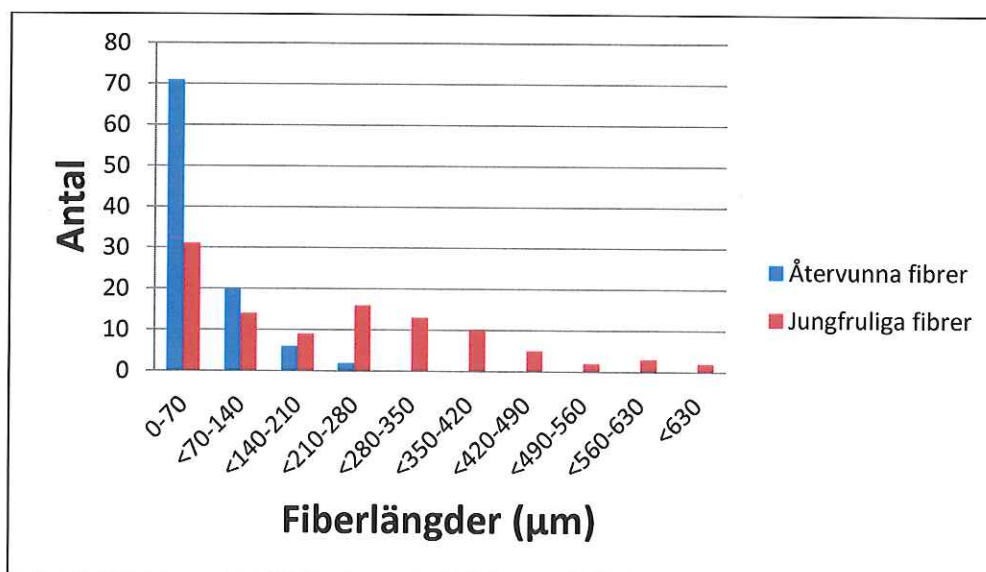
Som det framgår av figur 5, så kan de mekaniska egenskaperna klart förbättras genom användningen av kopplingsagenter. Både böjmodulen och böjstyrkan påverkas klart genom att tillsätta MA-PP till formuleringen och en optimal koncentration erhålles vid 5 vikts-% MA-PP. I figur 6 visas det bästa provet med optimal koncentration av MA-PP i jämförelse med de två kommersiella referenserna. De återvunna glasfibrerna ger bättre mekaniska egenskaper än det kommersiella provet med kalk. I jämförelse med det kommersiella provet med jungfruliga glasfibrer ger de återvunna glasfibrerna något sämre mekaniska egenskaper.



Figur 6. Böjmodul för termoplastisk komposit där de återvunna fibrerna med kopplingsagent jämförs med två kommersiella referenser.

Glasfiberlängden för de framställda plastblandningarna undersöktes genom att plasten förbrändes i en högtemperaturugn och glasfibrernas fiberlängd bestämdes med hjälp av ett stereomikroskop. I figur 7 jämförs fiberlängderna för de återvunna och de jungfruliga fibrerna. Det framgår av att de återvunna fibrerna är klart kortare. Efter mikrovågspyrolysen blir fibrerna spröda och då fibrerna komponderas med plasten bryts dessa ned i större utsträckning än vad de jungfruliga fibrerna gör. Troligtvis kan de mekaniska egenskaperna för plastblandningarna med de återvunna glasfibrerna förbättras mer genom att utveckla blandningsmetoder som är mer skonsamma mot glasfibern. Resultaten som presenterats i denna rapport är framställda med en så kallad mikro-komponder. Processförhållandena med en sådan laborieutrustning skiljer sig lite från industriell utrustning. Tester gjordes även på utrustning hos Swerea IVF på en dubbelskrivs-extruder. Denna utrustning är mer lik industriella förhållanden. Dessa tester visade dock att den återvunna glasfibern var svår att dosera. För att förbättra de mekaniska egenskaperna skulle man behöva utveckla industriella metoder för att dosera den återvunna glasfibern på ett skonsamt sätt. Fibern skulle då kunna extruderas så att nedbrytningen av fibern kunde minimeras vilket skulle vara gynnsamt för de mekaniska egenskaperna.





Figur 7. Fiberlängder för återvunna respektive jungfruliga fibrer.

## 2.5 Sammanfattning av de tekniska resultaten

Testerna visade att den olja och gas som bildas vid mikrovågspyrolysen är relativt energirik och det finns goda förutsättningar för att kunna utnyttja dessa kommersiellt. Den återvunna glasfibern behåller ganska stor del av dess dragstyrka efter pyrolysen men fiberns sizing är nedbruten efter pyrolys. Tester genomfördes där nya kompositier tillverkades med de återvunna glasfibrerna. Kompositerna mekaniska egenskaper begränsas av att sizingen är nedbruten och att fibern är spröd efter pyrolysen. Stor vikt lades vid att förbättra de mekaniska egenskaperna genom att tillsätta olika kopplingsmedel vid tillverkningen. Kompositier med relativt goda mekaniska egenskaper kan tillverkas med denna metod. Kompositerna mekaniska egenskaper kan troligtvis förbättras ytterligare genom att förfina tillverkningstekniken så att den återvunna glasfibern inte bryts ned i samma utsträckning.

Mikrovågspyrolys är en relativt ny teknik för att återvinna material och kan potentiellt användas för material som saknar etablerade metoder för återvinning. Exempel på material som i framtiden skulle kunna återvinnas med mikrovågspyrolys är elektronikavfall, vissa typer av kompositier och förpackningar som är sammansatta av både metall och plast. Tekniken har också utvärderats för olika former av biomassa. En kommersialisering av tekniken skulle dock kräva en relativt stor anläggning vilket är en stor investering. För att kunna motivera en sådan investering krävs ett flera avfallströmmar kan återvinnas med hjälp av tekniken. Kompositier skulle därför potentiellt kunna bli en avfallström som återvinnas med hjälp av mikrovågspyrolys. För att kommersialisera krävs dock att tekniken kan användas för ett flertal olika typer av avfall.



### 3. Samarbete med näringsliv

#### 3.1 Omfattning

Ett samarbete mellan Stena Metall AB och Högskolan i Borås kunde starta genom detta projekt. Nu finns det ett etablerat samarbete där båda parter samverkat för att finna en lösning för att återvinna kompositer. Forskningen har i första hand syftat till att utveckla och skapa kunskaper kring återvinning av polymera kompositer med hjälp av mikrovågspyrolys. Forskningen har bedrivits i anslutning till ett större forskningsprojekt, EU LIFE+, "Recycling of waste glass fiber reinforced plastic with microwave pyrolysis". I detta projekt ingick Stena Metall AB, Högskolan i Borås, Gisip AB samt The Poznan University of Economics. Samarbetet har skett genom projektmöten, telefonkonferenser, gemensamma publikationer, provkörningar i både laboratorieskala såväl som större provkörningar. Därtill har andra återvinningsmetoder för polymera kompositmaterial diskuterats och utvärderats, för att få en uppfattning om metodernas tekniska och ekonomiska potential.

#### 3.2 Teknikutveckling

Utvecklingen av mikrovågstekniken har skett vid Stena Metall AB och Gisip AB. Detta har resulterat i att en utrustning för laborietester av mikrovågspyrolys har framtagits. Vidare har en pilotanläggning för kontinuerlig mikrovågspyrolys utvecklats av Stena Metall AB. Högskolan har i samarbete med respektive företag genomfört pyrolyseringar av kompositmaterial. Samarbetet har lett till en ökad förståelse för mikrovågspyrolysens möjligheter och begränsningar. Ett antal provkörningar har genomförts för att utvärdera mikrovågspyrolysutrustningen. Inledningsvis genomfördes en serie med pyrolyser av glasfiberarmerad plast med den utrustning som Gisip utvecklat. Erfarenheterna från dessa försök är att det går bra att pyrolysera glasfiberarmerad plast med denna utrustning och resultaten finns beskrivna under sektion 2. Stena Metall och högskolan har också genomfört provkörning av den pilotanläggning för kontinuerlig mikrovågspyrolys som utvecklats.

#### 3.3 Karaktärisering av produkter

Då glasfiberkompositer pyrolyseras bildas olja, gas och återvunna glasfibrer. Forskningen på Högskolan i Borås har syftat till att karaktärisera dessa produkter samt att utveckla användningsområden för dessa produkter. Erfarenheterna från detta samarbete visar på att de erhållna produkterna från mikrovågspyrolysen kan användas för industriella ändamål. Den återvunna glasfibern utvärderades för att användas i nya kompositer. Detta finns beskrivet i mer detalj i sektion 2.

#### 3.4 Fragmentering

En frågeställning i samband med återvinning av kompositer är hur dessa ska hanteras på ett rationellt sätt. Kompositerna måste sönderdelas på ett rationellt sätt för att kunna hanteras under mikrovågspyrolysen. Olika sätt att sönderdela kompositerna kan påverka de slutliga egenskaperna av den återvunna glasfibern. Projektet har därför utvärderat olika metoder att sönderdela kompositerna och projektet har i huvudsak fokuserat på återvinning av vindkraftsvingar. Användningen av vindkraftsvingar förväntas öka i framtiden och behovet av att kunna återvinna



dessa material kommer i framtiden att bli stort. Denna typ av kompositmaterial är mycket skrymmande och det saknas metoder för att återvinna dessa material.

Inledningsvis i projektet så sågades vindkraftsvingar till mindre delar för att sedan pyrolyseras. Tester gjordes vid Stena Aluminium där fibrerna separerades med en kulkvarn. Tester genomfördes också vid både Stena Metall i Danmark och vid Högskolan i Borås där kompositerna maldes i laboratorieskala med olika typer av kvarnar.

Större fullskaliga tester genomfördes också. En test genomfördes vid Stena Metalls återvinningsanläggning i Malmö där vindkraftsvingar från Vestas Wind Systems A/S fragmenterades i en hammarkvarn avsedd för fragmentering av bilar. Sammanlagt fragmenterade 8 ton vindkraftsvingar. Testerna visade att det är möjligt att hantera och sönderdela vindkraftsvingarna på ett rationellt sätt. Det fragmenterade materialet användes senare vid mikrovågspyrolysen och utvärderades vid högskolan.

### 3.5 Användning av återvunnen glasfiber som konstruktionsmaterial

Den huvudsakliga målsättningen med projektet har varit att utvärdera mikrovågspyrolysen som ett sätt att återvinna kompositer. Att använda mikrovågspyrolys i industriell skala innebär dock stora investeringar. Mikrovågspyrolys kan därför ses som en långsiktig lösning. Tester gjordes även där den fragmenterade kompositen användes som ett konstruktionsmaterial för sluttäckning av deponi. Detta kan ses som en mer kortsiktig lösning medan mikrovågspyrolysen kan ses som en mer långsiktig lösning. Dessa tester utfördes av Stena Metall AB, Hifab och Högskolan i Borås. Testerna visade att detta kan vara en temporär lösning.

### 3.6 Spridning av resultaten

Samarbetet mellan Stena Metall och högskolan har också syftat till att sprida forskningsresultaten. Presentationer har genomförts både vid industriella konferenser såväl som akademiska konferenser. Ett antal artiklar har också producerats tillsammans – både konferensartiklar, peer-reviewade artiklar såväl som populärvetenskapliga artiklar har producerats. Samarbete har också resulterat i ett seminarium som riktade sig till både näringsliv och akademi. Seminariet genomfördes under hösten 2012 (se sektion 6) där återvinning av glasfiber diskuterades och resultat från forskningen presenterades. Deltagare var framför allt deltagare från vindkraftsindustrin samt deltagare från nordiska universitet.

### 3.7 Sammanfattning av samarbetet

Sammanfattningsvis har samarbetet mellan de olika samarbetsparterna resulterat i ökad kunskap kring mikrovågstekniken och återvinning av kompositer. Mikrovågstekniken är främst lämplig för komplext sammansatta material som saknar etablerade återvinningsmetoder. Erfarenheterna från projektet är att tekniken troligtvis inte lämplig är för rena plastmaterial då dessa kan återvinnas med etablerade metoder. Exempel på material som potentiellt kan återvinnas med mikrovågspyrolys är material som innehåller både plast och en oorganisk del. Mikrovågstekniken har tidigare utvärderats för till exempel förpackningar som



innehåller både aluminium och plast [14] samt för bilfluff (rest från återvinningen av bilar som har ett högt organiskt innehåll) [15]. För att mikrovågspyrolysen i framtiden ska kunna kommersialiseras måste tekniken utvärderas för fler avfallströmmar än kompositer. En kommersiell anläggning för mikrovågspyrolysis är en relativt stor investering och flera olika avfallsströmmar måste kunna återvinnas.

Samarbetet mellan Stena Metall och högskolan har även utvidgats till att gälla andra områden av materialåtervinning. Återvinning av textila material har speciellt diskuterats, och det ordnades det en gemensam workshop gällande textil återvinning den 29 november 2012, vilken hade som syfte att dels presentera internationell forskning inom textil återvinning, samt även sammanföra andra företag med Högskolan i Borås för att kunna etablera nya projekt och samarbeten.

#### **4. Projektets bidrag till forskningsmiljöns utveckling och högskolans profilering**

Forskningen i detta projekt är kopplat till forskningsområdet Resursåtervinning vid Högskolan i Borås. Forskningen inom Resursåtervinning är tvärvetenskaplig och det finns fyra samverkande forskargrupper; bioteknik, förbränning och termiska processer, polymerteknik samt simulering och modellering. Projektet har därför passat bra in i den befintliga forskningsmiljön. Projektet har bidragit genom att öka kunskapen kring återvinning av kompositer samt ökat kunskapen mer specifikt beträffande mikrovågspyrolysis. Projektet har också möjliggjort publikationer, konferensbidrag, seminarier och föreläsningar har kunna genomföras. Högskolan i Borås erhöll även examensrättigheter för att bedriva forskarutbildning inom området Resursåtervinning år 2010. Det genomförda projektet var ett viktigt bidrag vid bedömningen av högskolans vetenskapliga kompetens inom området, därtill så medverkar Dan Åkesson medverka som biträdande handledare för två doktorander inom Resursåtervinning.

#### **5. Tjänsteinnehavarens akademiska meritering och fortsatta verksamhet**

Tjänsteinnehavaren, Dan Åkesson, är utbildad civilingenjör vid Lunds Tekniska Högskola och disputerade vid Chalmers Tekniska Högskola under 2009. Postdoc-tjänsten har inneburit att ytterligare publiceringar och deltagande i konferenser har kunnat genomföras. En docentmeritering bör kunna genomföras under år 2013. Dan Åkessons anställning kommer även att fortsätta vid Högskolan i Borås, till en början som biträdande lektor inom området Resursåtervinning.

## 6. Genomförda aktiviteter

Forskningen är presenterad på flera konferenser, seminarium och i flera publikationer som framgår av sammanställningen nedan.

### Publikationer:

Recycling of thermoset composites by microwave pyrolysis, Dan Åkesson and Mikael Skrifvars. Conference proceeding, 18th international conference on composite materials (iccm18), August 21-26, 2011.

Återvinning av kompositer med mikrovågspyrolys, Carina Pettersson och Dan Åkesson, Återvinnare för industrin, Rekord Media och Produktion AB, 2011.

Microwave pyrolysis as a method of recycling glass fibre from used blades of wind turbines. Dan Åkesson, Zenon Foltynowicz, Jonas Christéen and Mikael Skrifvars. Journal of Reinforced Plastics and Composites 31(17) 1136–1142.

Recycling of glass fibre reinforced plastics using microwave pyrolysis, Conference proceeding, International conference on recycling and reuse, Istanbul, Turkiet, 4-6 Juni, 2012.

Glass fibres recovered by microwave pyrolysis as a reinforcement for polypropylene, Dan Åkesson, Ramesh Krishnamoorthi, Zenon Foltynowicz, Jonas Christéen, Adib Kalantar, Mikael Skrifvars. Skickad för peer-review.

Products obtained from decomposition of glass fibre reinforced composites using microwave pyrolysis, Dan Åkesson, Zenon Foltynowicz, Jonas Christéen and Mikael Skrifvars. Skickad för peer-review.

### Konferenser:

Nordiska kompositdagarna i Varberg, 20X0-MM-DD, "Återvinning av komposit med mikrovågspyrolys", muntlig presentation.

18th International Conference on Composite Materials (ICCM18), Augusti 21-26, 2011. Poster presentation, "Recycling of thermoset composites by microwave pyrolysis".

International conference on recycling and reuse, Istanbul, Turkiet, 4-6 Juni, 2012. "Recycling of glass fibre reinforced plastics using microwave pyrolysis", oral presentation.

Resultat har även presenterats vid konferensen "Avfall i Nytt Fokus" i Borås, 22-23 september 2010. Åhörare var främst aktörer och företag inom återvinningsbranschen.

### Seminarier:



Ett 1-dagars seminarium, "Recycling of waste glass fiber reinforced plastics with microwave pyrolysis" om återvinning av komposit genomfördes vid, Stena Metall AB, Göteborg, 2012-09-27.

Föreläsningar:

Se punkt 7.

Övrigt:

En presentation av projektet hölls också, internt, på ett personalmöte, 2010-03-16.

## **7. Projektets samverkan med grundutbildningen**

Föreläsning har getts där återvinning av komposit diskuterats och där forskningsprojektet också presenterades. Studenter har också genomfört projektarbete inom ramen för återvinning av komposit, där användningen av återvunna glasfibrer diskuterats.

Genomförda föreläsningar där projektet presenterats:

- Sustainable materials, 2010-09-28.
- Resource recovery, 2012-10-08

Genomförda studentarbeten:

- Recycling of glass fiber composites, master thesis, Ramesh Krishnamoorthi och Zhang Shizhao, 2011
- Uwe Becker, Preparation and characterisation of glass fibre mat reinforced thermoplastics (GMT) from recycled fibres and natural fibres, 2010

## **8. Samverkan med andra forskargrupper**

Samverkan har skett med Poznan University of Economics i Polen. Samarbetet har lett till flera sampublikationer, se punkt 6.

## **9. Hur man arbetat med information och kommunikation om projektet**

Projektet har presenterats genom flera konferenser, seminarier och genom flera publikationer, se punkt 6. En hemsida för projektet finns också ([http://www.hb.se/wps/portal/lut/p/c0/04\\_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os3g3E2-XsGAzYwP3AAsDA6MwP3cjlzc3o-AQA\\_2CbEdFACD4VbU!/\)](http://www.hb.se/wps/portal/lut/p/c0/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os3g3E2-XsGAzYwP3AAsDA6MwP3cjlzc3o-AQA_2CbEdFACD4VbU!/)

## 10. Ekonomisk redovisning

### Bidrag från KK-stiftelsen

Bidrag från KK-stiftelsen	Bokförda intäkter
Bidrag från KK-stiftelsen	905 000

### Bidrag Företag

Stena Metall AB

	Timmar	Kronor/tim	Totalt kkr
Kontanta medel som överförts till högskolan			984504
Interna resurser: arbetstid			
Interna resurser: användning av dyrbar utrustning			
Totalt bidrag			

### Kostnader

Typ av kostnader	Bokförda kostnader
Lönekostnader (inkl. sociala avgifter)	1553 363
Resor	82 332
Övriga kostnader	99 806
Högskolepålägg ..... %	517 058
Institutionpålägg ..... %	248 762
Totalt kostnader i kkr	2501 321



Underskrift av redovisningsansvarig:

20130129



M. SKRIFVING  
Projektledare

29.1.2012



## Referenser

1. Pickering, S.J., *Recycling technologies for thermoset composite materials--current status*. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. 37(8): p. 1206-1215. (2006).
2. Liu, Z., et al., *The characterisation and reuse of glass fibres recycled from scrap composites by the action of a fluidised bed process*. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing (Incorporating Composites and Composites Manufacturing). 29(7): p. 839-845. (1998).
3. Pickering, S.J., R.M. Kelly, J.R. Kennerley, C.D. Rudd, and N.J. Fenwick, *A fluidised-bed process for the recovery of glass fibres from scrap thermoset composites*. Composites Science and Technology. 60(4): p. 509-523. (2000).
4. Bream, C.E. and P.R. Hornsby, *Structure development in thermoset recycle-filled polypropylene composites*. Polymer Composites. 21(3): p. 417-435. (2000).
5. Bream, C.E. and P.R. Hornsby, *Comminuted thermoset recycle as a reinforcing filler for thermoplastics Part I Characterisation of recycle feedstocks*. Journal of Materials Science. 36(12): p. 2965-2975. (2001).
6. Cunliffe, A.M. and P.T. Williams, *Characterisation of products from the recycling of glass fibre reinforced polyester waste by pyrolysis*☆. Fuel. 82(18): p. 2223-2230. (2003).
7. Derosa, R., E. Telfeyan, G. Gaustad, and S. Mayes, *Strength and Microscopic Investigation of Unsaturated Polyester BMC Reinforced with SMC-Recyclate*. Journal of Thermoplastic Composite Materials. 18(4): p. 333-349. (2005).
8. Kao, C.C., O.R. Ghita, K.R. Hallam, P.J. Heard, and K.E. Evans, *Mechanical studies of single glass fibres recycled from hydrolysis process using sub-critical water*. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. 43(3): p. 398-406. (2012).
9. Goto, M., M. Sasaki, and T. Hirose, *Reactions of polymers in supercritical fluids for chemical recycling of waste plastics*. Journal of Materials Science. 41(5): p. 1509-1515. (2006).
10. de Marco, I., et al., *Recycling of the Products Obtained in the Pyrolysis of Fibre-Glass Polyester SMC*. Journal of Chemical Technology & Biotechnology. 69(2): p. 187-192. (1997).
11. Torres, A., I. de Marco, B.M. Caballero, M.F. Laresgoiti, M.A. Cabrero, and M.J. Chomón, *GC-MS analysis of the liquid products obtained in the pyrolysis of fibre-glass polyester sheet moulding compound*. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. 58-59(0): p. 189-203. (2001).
12. Torres, A., I. De Marco, B.M. Caballero, M.F. Laresgoiti, M.J. Chomón, and G. Kondra, *Recycling of the solid residue obtained from the pyrolysis of fiberglass polyester sheet molding compound*. Advances in Polymer Technology. 28(2): p. 141-149. (2009).
13. Undri, A., L. Rosi, M. Frediani, and P. Frediani, *Microwave pyrolysis of polymeric materials*. Microwave Heating. Available on-line: <http://www.intechopen.com/books/export/citation/EndNote/microwave-heating/microwave-pyrolysis-of-polymeric-materials>. 2011.
14. Ludlow-Palafox, C. and H.A. Chase, *Microwave-Induced Pyrolysis of Plastic Wastes*. Industrial & Engineering Chemistry Research. 40(22): p. 4749-4756. (2001).
15. Donaj, P., W. Yang, W. Błasiak, and C. Forsgren, *Recycling of automobile shredder residue with a microwave pyrolysis combined with high temperature steam gasification*. Journal of Hazardous Materials. 182(1-3): p. 80-89. (2010).